

改良効果の不均一性を考慮した SCP 改良地盤の地震時応答解析

九州大学 学○澤田尚樹 正 笠間清伸 古川全太郎
(株)不動テトラ 正○原田健二 竹内秀克 非 日高亮

1. はじめに

緩い砂質地盤に砂杭を造設するサンドコンパクションパイル (SCP) 工法は、液状化対策などを目的として利用されている。SCP 工法の改良効果については、実地盤の密度や細粒分などの物理特性の不均質性や締固め効果の不均一性に起因して、改良地盤の液状化強度に空間的なばらつきが生じる。

本文では、液状化強度にばらつきを有する SCP 改良地盤の地震挙動を把握するために数値解析を行い、地震時応答特性、地震時沈下特性および、過剰間隙水圧挙動に着目し、地盤改良効果を評価した。

2. 解析概要

図-1 に地盤の解析モデルを示す。解析モデルの要素数は 2200、節点数は 2331 とした。地盤全体(高さ 10m, 幅 100m) のうち、地盤底部から 9m まで地下水が存在し、また SCP 工法による改良範囲は地盤中央の幅 20m とした。本研究では改良対象の 800 要素 (地下水以深: 720 個, 地下水以浅: 80 個) の改良前の N 値と細粒分含有率 F_c にばらつきを与えた。原地盤の N 値と F_c の平均値をそれぞれ 5.8 と 35.1% とし、 N 値と F_c の変動係数をそれぞれ 0.3 と 0.1 とした。 N 値と F_c はそれぞれ独立な対数正規分布でばらつきを与えた。ばらつきを有する改良部の断面の一例を図-2 に示す。ばらつきを与えた断面を 10 パターン作成し解析を行った。また改良部の改良率は 0%, 10%, 20% とした。地盤の自己相関距離は鉛直方向に 3m, 水平方向に 15m と設定した。SCP 改良地盤は原地盤と F_c は同値とし、 N 値を方法 D^1 により計算し、各要素の剛性及び液状化パラメータを決定した。図-3 に地震応答解析で用いた入力地震動の波形を示す。図の地震動は L2 地震動を想定し、最大加速度は 740gal とした。また地震応答解析終了後、過剰間隙水圧の消散を考慮した浸透連成解析を行い、地震後の過剰間隙水圧の消散に伴う地表面の変形を照査した。

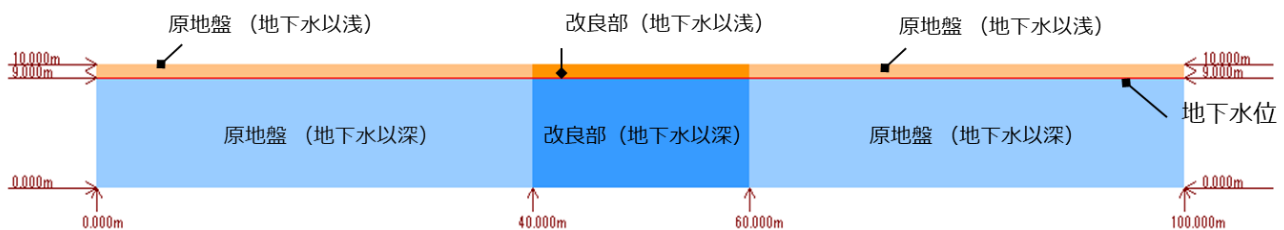


図-1 解析地盤モデル

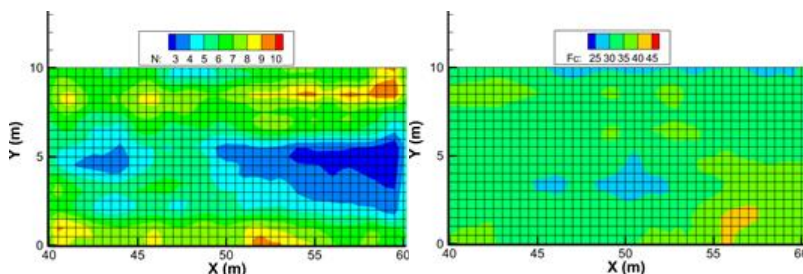


図-2 原地盤の N 値と F_c の空間的ばらつきの一例

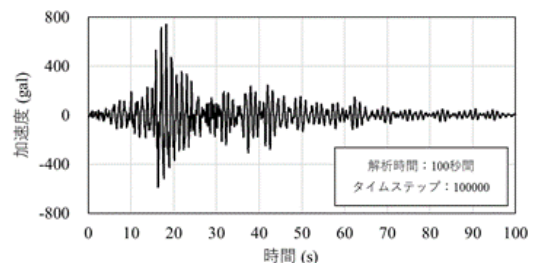


図-3 入力地震動

3. 解析結果および考察

図-4 に均一地盤および 10 ケースのばらつきを有する地盤における改良部の改良率と液状化率の関係を示す。なお、本文では液状化率を改良部地下水以深の要素数 (720 要素) のうち、地震中の最大過剰間隙水圧比が 0.95 を超えた要素数の割合と定義した。均一地盤では未改良 (改良率 0%) の場合、液状化率は 100% となり、すべての要素

が液状化した。ばらつきを有する地盤での液状化率は 75～91%と均一地盤の液状化率よりも下回る結果となった。一方で改良率 10% においては、均一地盤の液状化率は 0% だったのに対し、ばらつきを有する地盤ではすべてのケースで液状化する要素が発生し、液状化率は 19.9～54.6% となった。理由として原地盤のばらつきに起因して改良後の N 値が小さい箇所が生じたためだと考えられる。改良率 20% では均一地盤およびばらつきを有する地盤ともに改良部で液状化はほぼ発生しなかった。

図-5 に図-2 に示す地盤条件を対象に改良率 10% における地震終了時の過剰間隙水圧比の分布を示す。均一地盤では改良部には過剰間隙水圧が 0.95 を超える要素は存在しなかった。それに対し、ばらつきを有する地盤では改良部に過剰間隙水圧比が 0.95 を超える要素、すなわち液状化していると考えられる要素²⁾が発生した。

図-6 に各改良率における地震終了後の地表面沈下量を示す。均一地盤の結果を点線、ばらつきを有する地盤の最大値、最小値および平均値をプロットで示している。平均沈下量は、未改良の均一地盤では 0.175m、ばらつきを有する地盤では 0.126m と大きな差異が生じた。それに対し、改良率 10% の均一地盤で 0.085m、ばらつきを有する地盤で 0.079m となった。改良率 20% では、均一地盤で 0.043m、ばらつきを有する地盤で 0.044m となった。以上より SCP 改良により、ばらつきを考慮した場合でも均一地盤の結果とほとんど差異は生じないことがわかった。

4. まとめ

本文で得られた結論を以下に示す。

- 1) 原地盤の空間的なばらつきに起因して改良率によって部分的な液状化を引き起こす。この部分的な液状化は SCP 工法で改良した場合でもみられ、改良率 10% における液状化率は 19.9～54.6% となり、改良率 20% では均一地盤と同様に液状化は発生しなかった。
- 2) 地震後の平均沈下量は、未改良の場合、均一地盤で 0.175m、ばらつきを有する地盤で 0.126m と大きな差異が生じたが、改良率 10% では、均一地盤で 0.085m、ばらつきを有する地盤で 0.079m となり、改良率 20% では、均一地盤で 0.043m、ばらつきを有する地盤で 0.044m となり、SCP 改良によって均一地盤とばらつきを有する地盤の結果は同等のものになった。

なお今回の解析では、SCP 改良による効果を N 値 (= 相対密度) のみで評価しているが、今後は砂杭自身の強度がもたらす効果や水平有効応力の増加による沈下量抑制効果など複合的に考慮した解析を行う必要がある。

<参考文献>

- 1) 山本実, 原田健二, 野津光夫: 締固め工法を用いた緩い砂質地盤の液状化対策の新しい設計方法, 土と基礎, 48 巻, 11 号, pp.17-20, 2001.
- 2) 社団法人地盤工学会: 土質試験の方法と解説 pp.640-654, 2006.

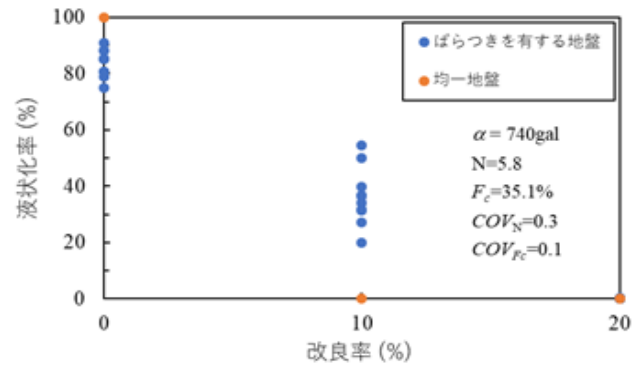


図-4 改良率と液状化率の関係

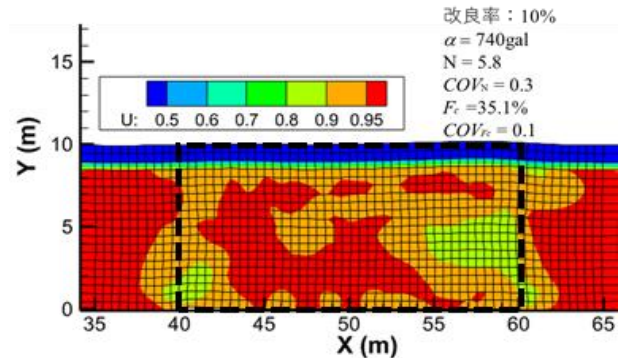


図-5 地震終了時の過剰間隙水圧比 (改良率 10%)

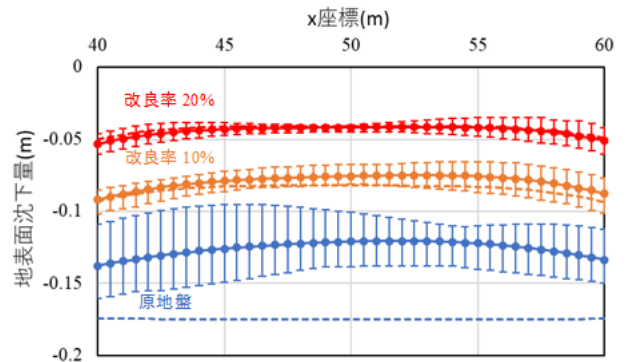


図-6 改良率と改良部地表面の沈下量の関係